ENSAMBLAJE DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS Y SU RELACIÓN CON LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN EL HUMEDAL DE JABOQUE-COLOMBIA

Assemblage of aquatic macroinvertebrates and its relationship whit physical and chemical variables in the wetland Jaboque-Colombia

John Jader Rivera-Usme
50 #22-01 Armenia, Quindío, Colombia. jaderrivera@yahoo.com.ar; jjriverau@unal.edu.co

Gabriel Antonio Pinilla-Agudelo
Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. gapinillaa@unal.edu.co

J. Orlando Rangel-Ch.
Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Bogotá, Colombia. jorangelc@unal.edu.co

RESUMEN

Desde abril de 2009 hasta enero de 2010, se estudió la composición y la estructura del ensamblaje de macroinvertebrados asociados a la vegetación acuática flotante y al sedimento del humedal de Jaboque (Bogotá, D.C.) y se realizaron mediciones de las variables físicas y químicas del agua. En la vegetación acuática se encontraron representantes de 36 géneros (27 confirmados y nueve por confirmar), correspondientes a 27 familias, diez órdenes y cinco clases. Las familias más abundantes en las macrófitas fueron Glossiphoniidae, Hyalellidae y Asellidae. La abundancia promedio fue de 908 ind/m^2. La mayor densidad se presentó en enero de 2010 (1099 ind/m^2) y la menor en octubre de 2009 (805 ind/m^2). De los macroinvertebrados bentónicos se registraron seis géneros y cinco familias, siendo Tubificidae, Glossiphoniidae y Physidae las más abundantes; la abundancia promedio fue de 21.5 ind/m^2. Variables como el amonio, el oxígeno disuelto, la DBO_5 y la temperatura ambiente mostraron diferencias significativas entre los periodos climáticos. De acuerdo con el análisis de componentes principales (ACP), los sólidos en suspensión explicaron la mayor variación en el conjunto de datos (80.1%), seguidos por el oxígeno disuelto (65%); junto con el amonio (68,9%), estas variables demostraron una mayor influencia sobre la diversidad de los macroinvertebrados acuáticos. El análisis de correlación canónica mostró que la abundancia de la familia Glossiphoniidae se relacionó positivamente con la concentración de nitratos y con la conductividad, mientras que la de la familia Tipulidae se asoció al oxígeno disuelto, con lo cual se evidencia que las condiciones eutróficas y sapróbicas del humedal influyen sobre la abundancia de estas familias debido probablemente a su adaptación a dichas características. En general, los resultados obtenidos se asocian con una elevada concentración de materia orgánica y con altos niveles de eutrofización del humedal.

Palabras clave. Macroinvertebrados acuáticos, ensamblajes, humedal urbano, Jaboque.

ABSTRACT

From April 2009 to January 2010, the composition and structure of macroinvertebrates assemblages associated with floating vegetation and sediments from the wetland Jaboque (Bogotá, Colombia) were characterized. Physical and chemical water variables were also measured. Macroinvertebrates in the aquatic vegetation comprised 36 genera, (27 confirmed and nine unconfirmed), 27 families, ten orders and five classes. The most abundant families in the macrophytes were Glossiphoniidae, Hyallelidae, and Asellidae. The average abundance was 908 ind/m^2. The highest density was observed in January 2010 (1099 ind/m^2) and the lowest in October 2009 (805 ind/m^2). The lowest richness and abundance values were recorded during higher rainfalls seasons. Benthic macroinvertebrates included six genera and five families; Tubificidae, Physidae and Glossiphoniidae were the most abundant; average abundance was 21.5 ind/m^2.Variables such as ammonia, dissolved oxygen, BOD_5 and temperature showed significant differences between climatic periods. According to the principal component analysis (PCA), the suspended solids explain most of the variation in the data (80.1%), followed by dissolved oxygen (65%). Along with ammonium (68.9%), these variables showed a greater influence on the diversity of aquatic macroinvertebrates. The canonical correlation analysis revealed that the abundance of family Glossiphoniidae was positively related to nitrate concentration and conductivity, while the family Tipulidae it was with dissolved oxygen, thus evidencing that eutrophic and saprobic conditions influence the abundance of these families, probably due to their adaptation to these characteristics. In general, the results are related with the high concentration of organic matter and high levels of eutrophication of this wetland.

Key words. Aquatic macroinvertebrates, assamblages, urban wetland, Jaboque.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son sistemas acuáticos que prestan servicios ambientales fundamentales para las comunidades rurales y urbanas. Entre otras funciones, los humedales amortiguan los pulsos hidrológicos, influyen en los ciclos biogeoquímicos y constituyen hábitats muy importantes para la biodiversidad (Rangel-Ch 2005). En el neotrópico la riqueza y abundancia de ecosistemas acuáticos continentales es elevada, comparada con otras regiones del mundo. Su heterogeneidad y diversidad son muy altas, en especial para la región andina colombiana, debido a las diferencias litológicas, geomorfológicas y climáticas que provoca la presencia de tres ramales de esta gran cadena montañosa. Sin embargo, muchos de estos humedales se encuentran en serios problemas de conservación como consecuencia del acelerado crecimiento poblacional de la región y del desarrollo industrial y urbano. Es vital, por lo tanto, su entendimiento como sistemas ecológicos a fin de lograr un manejo adecuado y un uso sustentable de estos ambientes frágiles.

La interacción del hombre con los humedales de la Sabana de Bogotá ha tenido una serie de connotaciones especiales a lo largo de los últimos quince mil años. Las diversas manifestaciones de esta interacción tienen siempre una forma singular de relación, que ha influido notoriamente en la conservación o en la destrucción progresiva de los diferentes entornos y paisajes (Castaño-Uribe 2003). Con el paso del tiempo, los humedales de la ciudad de Bogotá y de la Sabana han visto

disminuidos sus espejos de agua, su calidad ambiental y su extensión, convirtiéndose progresivamente en áreas agrícolas, ganaderas o urbanizables. De modo similar, la serie de drenajes y canales recientes han modificado el flujo hídrico y, junto con la urbanización descontrolada y la acelerada construcción de vías, han llevado al relleno progresivo de los humedales, a la alteración del drenaje natural y a cambios en la distribución de las unidades de vegetación (Rangel-Ch 2005). Todos estos efectos se observan actualmente en el humedal Jaboque.

En la actualidad la vegetación acuática flotante del humedal Jaboque está dominada por *Eichhornia crassipes* (buchón, tarulla). Hacia la zona marginal se disponen extensos colchones flotantes con *Bidens laevis* y hacia las orillas se establecen diferentes asociaciones vegetales típicas de zonas pantanosas. Aparecen también los juncales con *Schoenoplectus californicus* (junco redondo), *Typha latifolia* (totora, enea) y varias especies de *Polygonum*. Estos variados conjuntos de vegetación ofrecen protección, sitios de anidación y zonas de alimentación a diversos organismos del humedal (Hernández-R & Rangel-Ch 2009). En los tapetes de vegetación acuática flotante se encuentra una mayor riqueza de macroinvertebrados acuáticos (MIA) en comparación con los demás tipos de hábitats y sustratos (Armitage *et al*. 1995).

Jaboque es quizás uno de los humedales con más información sobre sus componentes físicos (clima, geología), bióticos, geológicos y de manejo en Colombia (Rangel-Ch. 2005). Entre los estudios limnológicos realizados en Jaboque figuran los de Álvarez (2003, 2005) y Sierra & Monsalve (2005). Los estudios de Ovalle (2006) y Venegas (2008) sobre macroinvertebrados muestran que Jaboque está muy contaminado con nutrientes y materia orgánica. Es precisamente este grupo de organismos uno de los más utilizados para caracterizar el grado de contaminación de los ambientes acuáticos (Prat *et al*. 2009), ya que permite definir con bastante precisión el estado de salud o conservación del ecosistema. El conocimiento escaso y fraccionado de la fauna de MIA de los humedales del trópico, especialmente en los Andes, y el reconocimiento de su importante papel en las redes tróficas, en la producción secundaria y en la contribución a la biodiversidad, son razones que justificaron la realización del presente trabajo. Por lo tanto este estudio buscó estimar las variaciones en la composición de los MIA (bentónicos y asociados a macrófitas) de Jaboque y conocer su relación con la variación espacio temporal de las características físicas y químicas del agua. Este trabajo contribuye a dilucidar el papel de los macroinvertebrados como indicadores puntuales de materia orgánica, de eutrofización y de deterioro en general del humedal Jaboque.

ÁREA DE ESTUDIO

El humedal Jaboque posee una extensión de 75 Ha, es una zona de inundación del río Bogotá y está ubicado en un cuadrante con las siguientes coordenadas geográficas en grados decimales: 4.728570º N; 4.696868 S; -74.115514 E; -74.149692 W (Datum WGS84, Google Earth™, DigitalGlobe™). Incluye zonas permanentemente anegadas con espejos de agua y con vegetación flotante o enraizada y zonas de pastizales emergentes que se inundan en épocas lluviosas. Tiene una elevación promedio de 2546 msnm. El régimen de distribución de lluvias es de tipo bimodal tetra-estacional con dos periodos de lluvias bajas (diciembre-febrero y junio-agosto) y dos de lluvias altas (septiembre-noviembre y marzo-mayo). La precipitación media anual es de 792.8 mm y la humedad relativa es del 80%; la temperatura media anual es de 13.4 ºC (Rangel-Ch. 2005). En la vegetación acuática y de ribera del humedal se diferencian varias comunidades. En las orillas están los juncales de *Schoenoplectus*

californicus y de *Juncus effusus* y el totoral de *Typha latifolia*. En ambientes pantanosos ya sea en las orillas o en zonas que se han terrizado al interior de la cubeta, se presentan los herbazales de *Polypogon elongatum* y de *Rumex conglomeratus* y el cortaderal de *Carex luridiformis*. En las zonas de transición entre los ambientes acuáticos y continentales se ubica la vegetación dominada por *Bidens laevis*, que se asocia con *Ludwigia peploides*, *Hydrocotyle ranunculoides* y *Polygonum punctatum*. En los reducidos espejos de agua se establecen las comunidades flotantes de *Eichhornia crassipes*, *Limnobium laevigatum* y *Lemna gibba*. En la zona de mayor transformación (área canalizada), se encuentran las comunidades de *Bidens laevis*, el herbazal de *Polygonum punctatum* (barbasco) y los pastizales con *Pennisetum clandestinum* (kikuyo) y *Polypogon elongatus* (Hernández-R & Rangel-Ch 2009).

METODOLOGÍA

Muestreos fisicoquímicos y de macroinvertebrados (MIA). Los muestreos se realizaron entre abril del 2009 y enero del 2010 y cubrieron épocas de lluvias altas y bajas. Se seleccionaron siete estaciones, tres de ellas ubicadas en la zona menos perturbada (menor impacto antrópico) y cuatro en las áreas más afectadas por la urbanización y por la presencia de canales de recolección de agua (Tabla 1). Las coordenadas y algunas características generales de cada estación se consignan en la Tabla 1. En cada estación se tomaron muestras de agua que se preservaron, refrigeraron y trasladaron al Laboratorio de Ecología Acuática de la Universidad Nacional de Colombia, donde se analizaron los nitratos (NO_3), nitritos (NO_2) y ortófosfatos (PO_4) por medio de un espectrofotómetro HACH DR/2000. También se determinaron sólidos suspendidos totales mg/L por gravimetría. Los análisis de nitrógeno amoniacal (mg/LN-NH_4) y demanda biológica de oxígeno (DBO_5) se desarrollaron en el laboratorio Analquim Ltda. En todos los casos, se siguieron las metodologías propuestas por APHA-AWWA-WPCF (Anónimo 1992). En cada estación se evaluaron *In situ* oxígeno disuelto mg/L O_2, temperatura del agua y del aire (ºC), pH (unidades de pH) y conductividad (µS/cm), para lo cual se empleó una sonda multiparamétrica (HANDYLAB MULTI 12/PH02 SCHOTT).

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo en el humedal de Jaboque (Localidad de Engativá) Bogotá D.C.- Colombia.

Estación	Norte	Oeste	Características de la estación
A	4º43´35,33"	74º08´45,11"	Poco impacto antrópico
B	4º43´21,55"	74º08´33,58"	Poco impacto antrópico
C	4º42´58,95"	74º07´53,81"	Elevado impacto antrópico, depósito de sedimentos
D	4º42´38,57"	74º08´02,57"	Moderado impacto antrópico
E	4º42´42,48"	74º07´47,83"	Moderado impacto antrópico
F	4º42´35,92"	74º07´38,41"	Fuerte impacto antrópico
G	4º42´11,05"	74º07´30,48"	Presencia de espejo de agua

La recolección de los macroinvertebrados asociados a las plantas acuáticas se realizó mediante transectos perpendiculares a la línea de borde (orilla del humedal). Se tomaron dos muestras por sitio, con una red de mano de 0.5 mm de ojo de malla (el área total muestreada fue de 1256 cm^2). La red se ubicó bajo la superficie a recolectar, se extrajeron las plantas acuáticas y se colocaron en bolsas plásticas. Posteriormente se lavaron cuidadosamente, para remover los organismos contenidos. Para las muestras del sedimento se empleó una draga tipo Eckman con un área de recolección de 25 x 30 cm. Se realizaron tres lances (réplicas) en cada punto. El lodo se fijó con formol al

10% para su posterior tamizado, lavado y extracción de macroinvertebrados bajo un estereoscopio. Los organismos extraídos se conservaron en etanol al 70% y formalina para los oligoquetos, en frascos previamente rotulados con la fecha y el sitio de recolección. La determinación taxonómica de todos los macroinvertebrados se hizo en el Laboratorio de Palinología del Instituto de Ciencias Naturales, para lo cual se utilizaron las claves especializadas de Pennak (1978), Roldán (1988), Merritt & Cummins (1996) y Fernández & Domínguez (2001).

Análisis ecológicos y estadísticos. Estos análisis se hicieron solo para los MIA asociados a la vegetación acuática, dada la baja abundancia y riqueza de los organismos bentónicos. Se calculó la diversidad de Shannon y la equitabilidad de Pielou. La riqueza se estableció con el índice de Margalef. Los cálculos se hicieron con el programa Past (versión 1.57). Para establecer las diferencias a nivel espacio temporal se empleó el análisis de varianza de una vía, para lo cual las variables se transformaron a logaritmo natural (ln x+1), por no cumplir los supuestos de normalidad y homocedasticidad. La asociación entre las variables biológicas (abundancia de familias, índices de diversidad) y las físicas y químicas se estableció mediante análisis de regresión. Se determinó la ordenación de las variables físicas y químicas por medio de un Análisis de Componentes Principales (ACP). Se efectuó un Análisis de Correspondencia Linealizado (ACL) para conocer los patrones de organización de la abundancia de MIA. También se hizo un análisis de regresión múltiple para establecer las variables físicas y químicas con mayor influencia sobre la riqueza de Margalef de los MIA. Finalmente, se realizó un análisis de correlación canónica para conocer las relaciones entre las variables físicas y químicas y la abundancia de los MIA asociados a las plantas acuáticas. Para estos análisis se utilizaron los programas R (R-2010) y SAS (2002).

RESULTADOS Y DISCUSION

Variables físicas y químicas

La temperatura ambiental (Tabla 2) fluctuó entre 13.1 y 21.5ºC y la del agua entre 12.1 y 19.9ºC. Los valores máximos se registraron en enero, época de lluvias bajas cuando la radiación aumenta y por ende la temperatura registró sus máximos valores. La estación con los registraron más altos fue la F (la más "urbana") en enero. Las menores temperaturas se presentaron en las estaciones B y G en abril y octubre. La temperatura ambiente mostró diferencias significativas por mes ($p = 0.00003$). Esta variable se encuentra influenciada por factores como la nubosidad (no se midió, pero indirectamente se puede relacionar con la precipitación) y la radiación solar, la última de las cuales tuvo picos fuertes en enero de 2010 (Rivera-Usme 2011). La temperatura del agua no mostró diferencias significativas por mes.

El oxígeno disuelto fluctuó entre 0.15 y 2.73 mg/L (Tabla 2). Presentó diferencias significativas ($p = 0.00002$) por mes. En abril se registró el mayor promedio y en enero se midieron los menores valores. Por lo general en los sistemas lénticos tropicales es común la tendencia a presentar un alto déficit de oxígeno (Lewis 2000), pero en humedales como Jaboque es aún más pronunciado debido a la elevada carga de materia orgánica (MO). Los máximos absolutos de oxígeno disuelto se registraron en abril en la estación G (sitio con espejo de agua y menor impacto) debido quizá a que fue el lugar con mayor superficie libre de plantas flotantes. Este resultado concuerda con el planteamiento de Metcalf & Eddy (1996), quienes afirman que a mayor espejo de agua mayor será la concentración de oxígeno ganado para los diferentes procesos biológicos (fotosíntesis) y físicos (reaireación). Lo contrario sucedió en la estación C, donde se registraron las concentraciones absolutas más bajas.

Tabla 2. Datos físicos y químicos durante los muestreos en el Humedal Jaboque (2009-2010).

Variables	Meses	Promedio	Desviación estandar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Temperatura del agua ºC	Abril	14,48	1,12	7,78	12,7	16,4
	Agosto	15,01	1,27	8,49	13,6	17,3
	Octubre	13,88	1,92	13,83	12,1	17,9
	Enero	15,64	2,2	14,07	13,4	19,9
Amonio mg/L NH_4	Abril	4,36	6,92	158,51	0,15	19,5
	Agosto	5,97	2,01	33,59	1,88	8
	Octubre	4,45	6,11	137,19	0,87	17,8
	Enero	6,95	2,62	37,79	2,65	9,8
Temperatura del ambiente ºC	Abril	15,41	1,15	7,5	13,5	17
	Agosto	17,94	2,54	14,16	14,1	21,5
	Octubre	14,62	1,17	8,05	13,1	16,3
	Enero	19,3	2,57	13,32	14,9	21,5
Conductividad µS/cm	Abril	281,14	81,76	29,08	169	406
	Agosto	434,42	180,53	41,55	203	678
	Octubre	275,14	75,2	27,33	163	396
	Enero	275,71	52,98	19,21	223	372
DBO_5 mg/L O_2	Abril	137,57	135,9	98,79	16	321
	Agosto	51,14	91,44	178,79	4	257
	Octubre	53,71	58,73	109,35	6	167
	Enero	129,28	124,67	96,43	14	294
Fósforo mg/L PO_4	Abril	0,88	0,49	55,4	0,36	1,68
	Agosto	2,52	2,15	85,46	0,71	6,6
	Octubre	1,55	1,45	93,4	0,29	3,88
	Enero	2,18	2,15	98,95	0,41	5,5
Nitratos mg/L NO_3	Abril	4,55	2,8	61,57	0,81	7,1
	Agosto	8,65	6,1	70,57	3,3	19,45
	Octubre	5,87	4,75	80,83	2,4	16,2
	Enero	9,01	6,32	70,11	3,85	18,4
Nitritos mg/L NO_2	Abril	0,008	0,003	38,46	0,005	0,013
	Agosto	0,004	0,002	48,68	0,002	0,008
	Octubre	0,006	0,004	70,6	0,002	0,012
	Enero	0,004	0,001	27,69	0,003	0,007
Nitrogeno amoniacal mg/L NH_3	Abril	8,64	10,23	118,43	0,56	25,8
	Agosto	2,72	1,95	71,743	1,12	6,1
	Octubre	3,28	2,51	76,62	1,12	7,84
	Enero	9,15	11,01	120,3	1,1	27,3
pH	Abril	6,4	0,19	3,12	6,03	6,65
	Agosto	6,34	0,25	3,95	5,82	6,56
	Octubre	6,48	0,39	6,02	6,17	7,31
	Enero	6,54	0,49	7,62	5,87	7,34
Sólidos suspendidos totales mg/L	Abril	28,42	20,38	71,71	7	55
	Agosto	25,14	25,08	99,76	6	107
	Octubre	28,57	15,27	53,45	12	47
	Enero	23	12,76	55,5	10	107
OD mg/L O_2	Abril	1,05	0,76	71,96	0,52	2,73
	Agosto	0,72	0,47	65,85	0,3	1,68
	Octubre	1,16	0,72	62,33	0,47	2,67
	Enero	0,61	0,52	86,3	0,15	1,71

La conductividad promedio fue relativamente alta (316 µS/cm) y fluctuó entre 163 y 678 µS/cm. Según Roldán y Ramírez (2008) los valores normales de conductividad en aguas dulces están entre 30 y 60 µS/cm. La estación con mayor promedio fue la B (sitio conservado y con poco impacto antrópico). La media más alta se registró en agosto y la mínima en octubre. Los altos valores de conductividad eléctrica pueden deberse tanto a un aumento en la entrada de sales por escorrentía, como a la concentración por evaporación. Otro posible factor incremental es la descomposición de la materia orgánica (MO), proceso que libera iones. Esto último parece coincidir con los valores altos de DBO_5 de los sitios y épocas en que se registraron las mayores conductividades. No obstante, los registros de conductividad de Jaboque no superan los de algunos ecosistemas acuáticos continentales del Neotrópico, que pueden llegar a 1500 µS/cm (Roldán & Ramírez 2008).

El pH fluctuó entre 5.82 y 7.34 con un promedio de 6.44. El mayor promedio se registró en enero y el más bajo en agosto (Tabla 2). Por tanto, el pH fue desde ligeramente ácido hasta cercano a la neutralidad. Estos valores están dentro los límites para la supervivencia de los organismos acuáticos (4.5 a 8.5, Roldán & Ramírez 2008), por lo que esta variable no parece ser un factor estresante en Jaboque.

El amonio osciló entre 0.15 y 19.5 mg/L. Presentó diferencias significativas entre las épocas ($p = 0.0072$), con una mayor concentración promedio en enero y menor en abril (Tabla 2). El resultado posiblemente se asocia con las condiciones poco oxidativas del sistema. Además, el amonio es un ión que puede contribuir a los valores altos de conductividad eléctrica que se presentaron para esa época. Al igual que en el presente estudio, Venegas (2008) registró aumento del amonio para la época seca. Según Mitsch & Gosselink (2000), estas concentraciones altas se deben a que el ión amonio (NH_4) es la forma principal de nitrógeno mineralizado en la mayoría de los sustratos inundados de humedales. Las condiciones de pH ácido a neutro en Jaboque podrían reducir la formación de amoniaco a partir del amonio, pero las altas concentraciones de este último constituyen un riesgo y un factor de estrés para la biota acuática.

Los nitratos fueron elevados y variaron entre 0.81 y 19.45 mg/L NO_3 (Tabla 2). En general, las épocas con mayores promedios fueron enero y agosto, con máximos en las estaciones C y D (agosto y octubre). Estas altas concentraciones de nitratos permiten clasificar al humedal en un estado trófico muy elevado (Roldán & Ramírez 2008). Los nitritos en cambio fueron bajos, con valores entre 0.002 y 0.013 mg/L de NO_2. Tales concentraciones son normales para este tipo de aguas, en las que se esperan datos inferiores a 0.2 mg/L. Álvarez (2003) halló valores de nitritos menores al límite de detección, pero Venegas (2008) midió hasta 0.3 mg/L. Se sabe que esta forma soluble del nitrógeno inorgánico es muy inestable y que pasa rápidamente a nitratos si hay mucho oxígeno en el agua, o a formas reducidas como amonio si las condiciones son de hipoxia o anoxia (Wetzel 1981).

El nitrógeno amoniacal varió ampliamente entre 0.56 y 27.30 mg/L (NH_3). Las estaciones con los mínimos valores fueron la A (sitio de sección conservada, poco impacto) y la G (sitio con espejo de agua) y el mayor promedio se dio en enero (Tabla 2). La existencia de un espejo de agua en el caso del sitio G y la menor presión antrópica en la estación A por estar más alejada de la zona urbana, podrían ser los factores que contribuyen a que en estos sitios el amoniaco sea menor. También es posible que las condiciones de baja concentración de oxígeno en el fondo del humedal hayan favorecido la elevada cantidad de amoniaco, para lo cual hubiese sido necesario realizar perfiles de oxígeno. Esta suposición requerirá futuras comprobaciones de campo. Los promedios

de nitrógeno amoniacal en Jaboque están por encima de los reglamentados para preservar la biota acuática (Roldán & Ramírez 2008) y podrían implicar problemas de toxicidad.

Las fuentes de polución a través de las cuales puede ingresar el nitrógeno al humedal son numerosas y variadas. Es factible pensar que bajo las condiciones limitadas de oxígeno que tiene este sistema, el proceso de amonificación sea intenso. En general los valores de nitrógeno clasifican al humedal Jaboque como eutrófico de acuerdo con la categorización trófica de lagos cálidos tropicales de Salas & Martino (2001).

Las concentraciones de ortófosfatos fluctuaron entre 0.29 y 6.6 mg/L de PO_4 y fueron altas durante todos los muestreos. Los valores máximos se presentaron en agosto y enero en las estaciones C (área relativamente conservada, con depósitos de escombros e impacto antrópico) y F (sitio intervenido, con fuerte impacto antrópico). La abundancia de fósforo en el agua es una evidencia clara de que se han presentado eventos de eutrofización en el humedal, producto del desarrollo urbano y de la mayor presencia de poblaciones humanas en sus cercanías. Además, algunas actividades ganaderas y agrícolas en las estaciones A y B y en otras zonas del humedal, contribuyen al incremento de este nutriente. El promedio general (1.78 mg/L) fue superior al registrado por Álvarez (2003, 2005). Estas concentraciones de PO_4, permiten clasificar al humedal como un ambiente hipereutrófico (Salas & Martino 2001).

Los sólidos suspendidos totales variaron entre 6 y 107 mg/L (Tabla 2) y se consideran dentro de los valores típicos para aguas continentales neotropicales (Roldán & Ramírez 2008). Álvarez (2005) y Venegas (2008) registraron concentraciones similares en Jaboque. Las máximas cargas de sólidos se midieron en la estación C en agosto y enero, debido a que en este sitio se observó durante todos los muestreos el vertimiento de lodos traídos de otros sitios del humedal. Los registros mínimos se obtuvieron en la estación G, presumiblemente por el espejo de agua que se presentó en esta zona, de manera que la menor densidad de macrófitas implicaría menos sólidos aportados por estas plantas.

Comunidad de MIA asociados a plantas acuáticas

Los MIA que habitan las plantas acuáticas estuvieron representados por 36 morfoespecies, cinco clases, diez órdenes de 27 familias y 35 géneros (27 confirmados y nueve aún por confirmar) (Tabla 3), para un total de 6539 individuos. Durante la época seca (enero) se recolectó la mayor cantidad de individuos (2001), que constituyeron el 31% del total. La menor abundancia se presentó en octubre (lluvias), con 1480 individuos (el 22% del total). En abril se alcanzó el 23% y en agosto el 25%. La estación B en enero y octubre mostró la mayor abundancia, seguida del sitio G en abril. No obstante, la abundancia no registró diferencias significativas entre periodos ($p = 0.6$) ni entre estaciones ($p = 0.14$). A pesar de ello se observaron diferencias numéricas entre la estación B y las estaciones C, E, F y G. Estas discrepancias se deben principalmente a la variación estacional de los organismos, la cual se presenta en función del efecto que ocasionan la presencia o ausencia de las lluvias. Las fluctuaciones climáticas alteran el volumen de agua y consecuentemente la disponibilidad de hábitats, lo que afecta la presencia de distintos grupos de macroinvertebrados. La riqueza fluctuó entre seis y 16 taxones, con diferencias significativa entre los meses ($p = 0.001$) y entre las estaciones ($p = 0.00001$). El valor máximo se halló en el sitio G durante todos los muestreos, con datos más altos en abril (16 taxones) y octubre (13), debido quizá a que esta estación tuvo los valores más altos de oxígeno disuelto y un pequeño espejo de agua que favoreció mejores las condiciones físicas y químicas del agua. Las estaciones A y

B también presentaron riquezas relativamente altas, ya que se encuentran más alejadas de la zona urbana, con lo cual aparentemente se disminuye la presión antrópica. Por supuesto, los efectos de las aguas residuales llegan hasta este sector más conservado, pero es posible que los procesos de autodepuración mejoren la calidad del agua en estas estaciones. Por otro lado, la estación C (con elevado impacto antrópico) registró la menor riqueza (seis taxones), debido probablemente a que sus condiciones físicas y químicas fueron muy adversas. A manera de hipótesis, se podría pensar que la variabilidad en las condiciones ambientales disminuye la competencia por recursos entre las poblaciones, y esto podría influir en su distribución y abundancia.

La familia más abundante fue Glossiphoniidae (44%), seguida de Hyalellidae (24%). Otras familias cuyos representantes estaban presentes fueron Asellidae (8%), Chironomidae (7%), Tipulidae (4%), Tubificidae (4%), Physidae (3%) y Sphaeriidae (2%). El género más abundante fue *Helobdella*, perteneciente a las sanguijuelas (Glossiphoniidae), el cual representó el 43% de los individuos. Los valores mayores de abundancia se registraron en enero de 2010 y en agosto de 2009. Los representantes de esta familia habitan por lo regular aguas quietas o de poco movimiento y toleran condiciones bajas de oxígeno, por lo cual son frecuentes y numerosos en lugares donde hay abundante MO en descomposición. El resultado concuerda con los mayores registros de DBO_5 y nutrientes durante enero y agosto (Tabla 2), característicos igualmente de aguas mesosapróbicas y polisapróbicas (Pennak 1978).

La segunda familia más abundante fue Hyalellidae (con el género *Hyalella*), que representó el 24%. En enero se registró su mayor abundancia. Las estaciones donde predominó, fueron la B (conservada) y la F (muy impactada) durante todos los meses de muestreo. En estos sitios se registraron altas conductividades, lo cual concuerda con los hallazgos de Moya *et al.* (2009a), quienes encontraron representantes de este género en sitios con valores elevados de conductividad. Estos organismos viven asociados a la vegetación acuática y se alimentan de MO en descomposición, muy abundante en Jaboque.

En la familia Chironomidae (7%), la subfamilia Chironominae fue uno de los taxones más abundantes (6%). Sus representantes predominaron en los sitios B y G durante todos los muestreos. La subfamilia Ortocladinae alcanzó el 1.6%. En general los Chironomidae presentan adaptaciones a la anoxia, tales como una mayor cantidad de sustancias de alta afinidad por el oxígeno (eritrocruorina), que contribuyen a la fijación de este gas aunque esté en muy baja concentración (Hoback & Stanley 2001). Los Chironomidos también son capaces de obtener energía por medio de fermentación anaeróbica. Además, es muy frecuente recolectarlos en sistemas que contienen alta cantidad de MO. La subfamilia Tanypodinae, que se caracteriza por ser depredadora (Pennak 1978), se recolectó tan solo en el sitio G durante todos los meses, excepto agosto.

La familia Asellidae alcanzó el 8% y fue muy abundante en agosto y enero (épocas secas), sobre todo en la estación C. Estos organismos se caracterizan por ser más abundantes en aguas quietas, viven entre los tallos y hojas de las macrófitas y se alimentan tanto de materia vegetal viva como de MO en descomposición (Pennak 1978). Tienen una tolerancia alta a la contaminación orgánica y varias especies del género *Asellus* han sido registradas en sitios con un alto grado de polución y elevados niveles de MO, tal como sucede en esta estación. Otros autores también señalan que en zonas donde abundan estos taxones es común encontrar Hirudíneos y Moluscos (Jeffries & Mills 1990), lo cual coincide con lo registrado en este estudio.

Tabla 3. Abundancia de individuos/m²de macroinvertebrados acuáticos asociados a plantas flotantes en el humedal Jaboque durante las épocas de muestreo.

Orden	Familia	Subfamilia o género	Estaciones							
			A	B	C	D	E	F	G	Total
Diptera	Chironomidae	Chironominae (gen1)	4	0	0	0	0	0	147	151
		Chironominae (gen2)	96	1047	16	4	48	36	139	1385
		Orthocladiinae (gen1)	0	76	4	0	0	72	135	287
		Orthocladiinae (gen2)	4	4	0	0	0	0	115	123
		Tanypodinae	0	0	0	0	0	0	32	32
	Tipulidae	*Tipula*	64	374	243	231	100	76	32	1119
	Sciomyzidae	Sciomyzidae	4	8	0	0	0	4	16	32
	Stratiomyidae	*Stratiomys*	0	0	0	0	0	0	4	4
	Ephydridae	*Ephydra*	0	0	0	0	0	0	36	36
		Ephydridae (gen1)	12	8	0	0	0	0	8	28
	Culicidae	*Culex*	4	0	0	12	0	0	0	16
	Dixidae	*Dixella*	0	0	0	0	0	0	16	16
	Syrphidae	*Eristalis*	8	0	4	0	4	4	16	36
	Psychodidae	*Psychoda*	0	0	0	0	0	4	0	4
	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae (gen1)	68	4	4	0	0	0	0	76
Coleoptera	Scirtidae	*Scirtes*	64	251	24	0	0	12	8	358
	Hydrophilidae	*Tropisternus*	0	12	0	0	0	0	16	28
		Hydrophilus	0	0	0	4	0	0	4	8
		Enochrus	4	0	0	0	0	4	28	36
	Dytiscidae	*Rhantus*	12	0	0	0	0	20	4	36
	Elmidae	*Heterelmis*	0	0	0	0	4	0	0	4
Heteroptera	Notonectidae	*Buenoa*	0	0	0	24	4	0	0	28
	Corixidae	*Centrocorisa*	0	0	0	12	0	0	0	12
Odonata	Aeshnidae	Aeshnidae (gen1)	8	32	16	0	0	12	72	139
	Coenagrionidae	*Acanthagrion*	8	0	0	8	4	0	0	20
Lepidoptera	Pyralidae	Pyralidae (gen1)	0	0	0	4	0	0	0	4
Amphipoda	Hyalellidae	*Hyalella*	40	2564	0	52	796	1620	1035	6107
Isopoda	Asellidae	*Asellus*	207	0	888	561	275	44	12	1986
Basommatophora	Physidae	*Physa*	0	88	20	279	68	227	96	776
Veneroida	Sphaeriidae	*Psidium*	0	0	0	40	358	72	24	494
Haplotaxidae	Tubificidae	Tubificidae (gen1)	96	28	247	80	56	151	303	959
	Lumbriculidae	Lumbriculidae (gen1)	0	16	0	0	0	0	0	16
Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	*Helobdella*	3551	1656	1449	2412	808	203	1031	11111
	Piscicolidae	*Piscicola*	0	0	0	4	20	0	0	24
Total			4252	6166	2914	3726	2544	2560	3328	25490

Los representantes del género *Tipula* (4.3%) se encontraron en la mayor parte de las estaciones, pero con predominio en los sitios D (moderado impacto – abril), B (menor impacto – enero) y C (alto impacto – agosto). Los tipulidos se alimentan de materia vegetal y MO en descomposición. También son indicadores de aguas mesoeutróficas (Angrisano & Trémouilles 1995) y se les cataloga como detritívoros, con un amplio espectro de alimentación que les confiere una alta capacidad de colonización. La familia Culicidae registró una muy baja abundancia en octubre (estación D) y en abril (estación E). Por lo general, sus representantes son indicadores de aguas mesoeutróficas (Roldán 1988). La familia Ceratopogonidae mostró su mayor abundancia en la estación A, en abril. Este taxón es indicador de aguas oligomesotróficas, razón por la cual solo se halló en este sitio, que es el de menor presión antrópica o zona menos perturbada.

Los coleópteros acuáticos tienen una gran importancia ecológica en los cuerpos de agua. El género *Scirtes* (familia Scirtidae) está catalogado como fragmentador (Merritt& Cummins 1996). Su mayor abundancia se registró en agosto en la estación B aunque fue frecuente en todos los muestreos. En esta estación se encontró gran cantidad de MO. La familia Hydrophilidae es la más numerosa de la superfamilia Hydrophiloidea y la segunda más numerosa de escarabajos acuáticos después de Dytiscidae. Los representantes de esta familia habitan en biótopos marginales a veces inundables, mientras otros son solo ribereños. El género *Enochrus* tuvo la mayor abundancia en la estación G en octubre. García (2008) menciona que los individuos de este género son solitarios y poco abundantes, lo cual concuerda con lo hallado en Jaboque. El género *Tropisternus* (estación B) se asocia con ambientes lodosos, poco profundos y con vegetación acuática (García 2008). La familia Dytiscidae registró una baja abundancia; su valor mayor se encontró en enero en la estación F. Los representantes de esta familia (la más diversa de los coleópteros acuáticos) son depredadores y están muy bien adaptados a la vida acuática, pero prefieren aguas menos cargadas de MO y nutrientes (Merritt & Cummins 1996).

Los oligoquetos de la familia Tubificidae (3.7% de abundancia) aparecieron en la mayoría de las estaciones. Fueron más abundantes en octubre y relativamente importantes en enero. Predominaron en los sitios C y F. Autores como Roldán (1988) afirman que los oligoquetos se encuentran asociados a bajas concentraciones de oxígeno, contaminación por MO y aguas turbias y eutroficadas. Estos organismos presentan además un alto grado de adaptabilidad debido a sus características morfológicas y fisiológicas y se les asocia con la presencia de sedimentos alóctonos.

Los gastrópodos estuvieron representados por el género *Physa* (familia Physidae), que alcanzó el 3% de la abundancia general. Su mayor densidad ocurrió en enero en las estaciones D y F. Thorp & Covich (2001) afirman que el pH óptimo para su reproducción y crecimiento oscila entre 5.6 y 8.3, límites en los cuales se encuentran las estaciones donde se recolectaron en Jaboque. Además, esta familia es característica de aguas con importantes niveles de contaminación y altos valores de alcalinidad (Pennak 1978). Otro grupo de gastrópodos pertenecientes a la familia Sphaeriidae estuvo relativamente bien representado en la estación E en agosto y en las estaciones D y F en enero. Estos organismos son propios de sistemas lénticos, donde las concentraciones de oxígeno son bajas (Thorp & Covich 2001), características registradas en Jaboque.

Los representantes del orden Heteróptera, de las familias Corixidae (*Centrocorisa*) y Notonectidae (*Buenoa*), se hallaron sólo en abril y octubre en la estación D. Los coríxidos prefieren aguas lénticas de extensión pequeña

o mediana, de poca profundidad, superficie libre y con vegetación sumergida escasa o moderadamente abundante (Roldán 1988). Estas condiciones no se cumplen en su totalidad en Jaboque, lo cual contribuye a la baja abundancia de este grupo.

Según Santos (1981), las larvas del orden Odonata son importantes en las redes tróficas de los ecosistemas acuáticos debido a que son consumidas por aves, reptiles, peces y anfibios. La familia Coenagrionidae (*Acanthagrion*) se registró en la estación A en abril y enero y en D en abril y agosto. Son muy generalistas y prefieren los sistemas lóticos (Santos 1981) y por ello tienen una baja representación en Jaboque. Esta familia también puede soportar grados altos de contaminación y prefiere la vegetación de la orilla (Roldán1988). La familia Aeshnidae tuvo muy baja abundancia, posiblemente por la reducida visibilidad de la columna de agua, lo cual disminuye el éxito de sus ninfas para alimentarse (Santos 1981). Por esta razón fueron relativamente abundantes en el sitio con espejo de agua (G).

Macroinvertebrados bentónicos

En total se registraron seis morfoespecies de cinco familias pertenecientes a cinco órdenes y tres clases, con un promedio por estación de 21.5 ind/m^2, de los cuales, los oligoquetos de la familia Tubificidae mostraron la mayor abundancia promedio (15 ind/m^2) y la más amplia distribución (se registraron en todas las estaciones). Las estaciones con abundancias más altas fueron la A en enero y la F en agosto (36 ind/m^2) (Figura 1). Los meses de mayor cantidad de MIA bentónicos fueron agosto y enero (secos). La familia Glossiphoniidae abundó en abril en las estaciones G, A y D, mientras que la familia Physidae fue escasa. Como ya se mencionó, la predominancia de los Tubificidae se puede deber a que son tolerantes a condiciones de anoxia (Roldán & Ramírez 2008). En ciénagas del Cesar, Martínez (2009) encontró una gran cantidad de oligoquetos y atribuyó el resultado a que la mayoría de los taxones de esta clase prefieren sustratos vegetales y MO vegetal en estado de descomposición, los cuales también son abundantes en el humedal Jaboque. Por otra parte, los hábitos tubícolas les permite enterrarse en el sedimento (en un ambiente que es inadecuado para otras especies), lo cual los protege de la depredación y les reduce la competencia. En general, los MIA bentónicos fueron mucho menos diversos y abundantes y esto se debe a que el sedimento de un humedal como

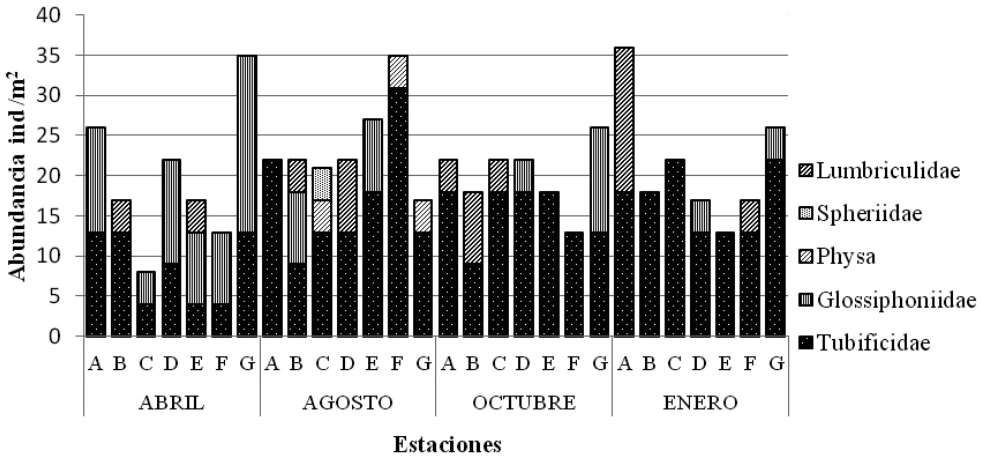

Figura 1. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos (ind/m^2) recolectados en el humedal Jaboque Bogotá D.C.-Colombia. Las letras A a G corresponden a los sitios de muestreo.

Jaboque, con tendencia a la anoxia, ofrece condiciones estresantes para la mayoría de los invertebrados acuáticos.

Análisis ecológicos y estadísticos

Ordenación de las variables físicas y químicas. El ACP indica que la variación entre las variables ambientales puede explicarse por los dos primeros componentes en un 54.3% (Figura 2). El primer componente muestra una organización temporal de las condiciones físicas y químicas, según la cual los muestreos de abril y agosto tuvieron aguas más oxigenadas, menos mineralizadas, menos eutróficas y menos sapróbicas. Enero presentó condiciones más desfavorables (menos oxígeno, mayor mineralización, más nutrientes, más MO) y de octubre fue intermedio. Las estaciones A, B y G se asocian con los mayores registros de oxígeno; son los sitios de mejores condiciones limnológicas y menor contaminación. Las estaciones C, D y E (impactadas) tienden a relacionarse con mayor conductividad, eutrofia y saprobiedad y menor oxigenación. El segundo componente muestra un gradiente de temperatura (mayor en las estaciones E, F y G del muestreo de enero) y pH (mayor en las estaciones C y D de abril y agosto). El ACP resalta la importancia del oxígeno disuelto y la conductividad y hace pensar que estos parámetros tienen una considerable influencia en los procesos que se llevan a cabo en el humedal, tales como la degradación de MO y el reciclaje de nutrientes.

Índices de diversidad. El índice de riqueza de Margalef fluctuó entre 0.92 y 2.48 bits (Tabla 4), con diferencias significativas por mes ($p = 0.003$) y por estación ($p<0.05$). En general los valores indican baja riqueza de macroinvertebrados, lo cual es normal en este tipo de sistemas lénticos (humedal urbano con fuertes presiones antrópicas). El promedio máximo se registró durante la época de precipitaciones altas en abril (1.83) y en agosto (1.46). Los mayores valores se encontraron en la estación G para todos los meses de muestreo, seguidas por las estaciones A y B. Se puede decir que las condiciones limnológicas de estos sitios (en especial en abril) fueron comparativamente mejores, lo cual implicó menores limitaciones físicas y químicas para el establecimiento de los MIA.

El índice de equitabilidad de Pielou varió entre 0.18 y 0.72 (Tabla 4) y registró diferencias significativas por estación ($p = 0.02$) pero no por mes ($p = 0.9$). Los mayores promedios mensuales ocurrieron en abril y agosto en las estaciones B y E. Los valores medios a bajos en este índice reflejan un posible descenso de la abundancia de organismos sensibles y un aumento de los organismos tolerantes, tales como lo fueron los representantes de las familias Asellidae y Glossiphoniidae.

La diversidad de Shannon osciló entre 0.45 y 1.73 bits, con diferencias significativas por estación ($p = 0.01$), pero no por mes ($p = 0.68$). Los máximos datos se encontraron en las estaciones B y G durante todos los meses de muestreo y los mínimos en el sitio D en octubre y enero (Tabla 4). El resultado puede deberse a que las características de este sitio fueron poco favorables, especialmente por la elevada carga de DBO_5. Wilhm & Dorris (1968) plantean que valores de diversidad entre uno y tres corresponden a aguas ligeramente contaminadas; si son inferiores a uno son intensamente contaminadas. Si se sigue esta escala la calidad del agua en el humedal Jaboque correspondería a una condición ligeramente contaminada para la mayor parte de las estaciones, lo cual subestima las verdaderas características eutróficas y polisapróbicas de este humedal. Venegas (2008) calculó valores de 1.53 bits en épocas de lluvias altas, un patrón muy similar al encontrado en este estudio.

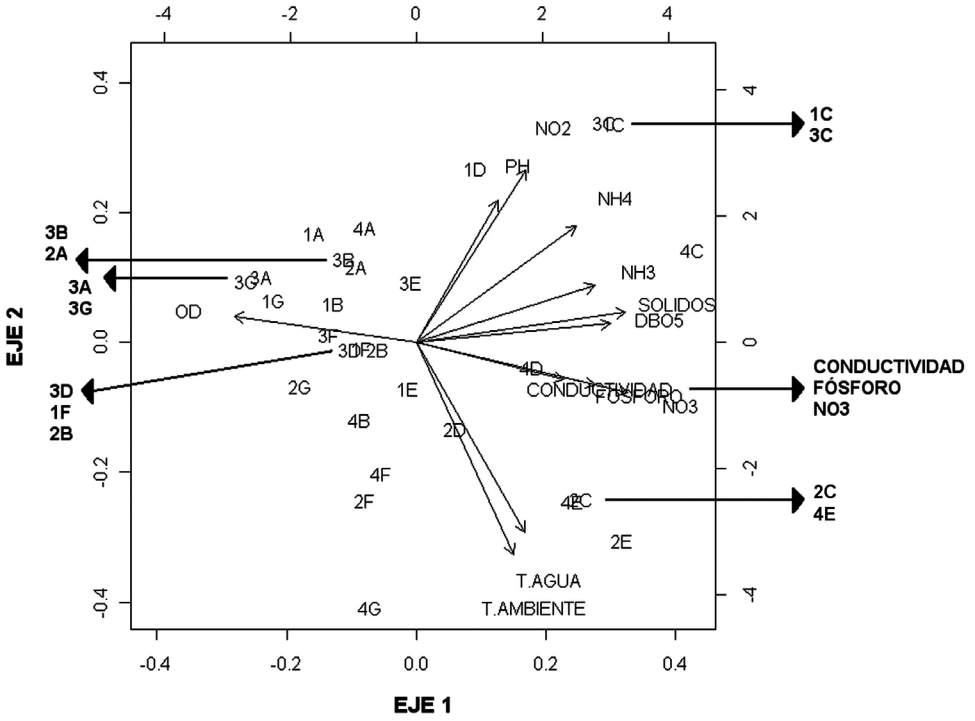

Figura 2. Análisis de componentes principales de las variables físicas y químicas registradas en el humedal Jaboque. Las letras son las estaciones (A, B, C, D, E, F, G) y los números hacen referencia a los meses de muestreo 1 (abril), 2 (agosto), 3 (octubre), 4 (enero).

Tabla 4. Índices ecológicos para la abundancia de macroinvertebrados recolectados durante los muestreos en el Humedal Jaboque Bogotá D.C.-Colombia.

Índices	Meses	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Riqueza de Margalef	Abril	1,83	0,49	26,69%	0,92	2,46
	Agosto	1,46	0,4	27,76%	0,97	2,22
	Octubre	1,43	0,5	35,09%	1	2,48
	Enero	1,53	0,42	27,46%	0,96	2,26
Equidad	Abril	0,54	0,15	28,68%	0,33	0,75
	Agosto	0,52	0,19	37,20%	0,23	0,79
	Octubre	0,51	0,16	32,51%	0,28	0,73
	Enero	0,53	0,16	30,88%	0,18	0,67
Diversidad de Shannon	Abril	1,28	0,39	31,08%	0,69	1,73
	Agosto	1,11	0,39	35,69%	0,48	1,57
	Octubre	1,08	0,4	37,08%	0,55	1,61
	Enero	1,17	0,37	31,87%	0,45	1,67

La variable que evidenció mayor relación estadística con la riqueza de Margalef fue el oxígeno disuelto, el cual aumentó de manera directa con el índice con un nivel de significancia de $p<0.01$. Por su parte, cuando el amonio se incrementó el índice disminuyó. El oxígeno tuvo una gran influencia en la riqueza de Margalef debido a que contribuye a la degradación de la MO y al mantenimiento de los procesos físicos, químicos y biológicos. Maul *et al.* (2004) demostraron que los sólidos disueltos, el fósforo, el amonio y la conductividad son importantes para definir la estructura de una comunidad de macroinvertebrados. Por otro lado, a medida que aumentó la concentración de sólidos suspendidos, disminuyó la riqueza de Margalef ($p = 7x10^{-7}$). Esta influencia coincide con la registrada para organismos acuáticos por Moya *et al.* (2009b), quienes plantean que variables ambientales como los sólidos suspendidos tienen mayor efecto sobre la riqueza, la diversidad y la densidad total de macroinvertebrados, que la intermitencia de las lluvias. En síntesis, el análisis de regresión múltiple mostró que el oxígeno, los sólidos y el amonio fueron las variables que más influyeron sobre la variación de la riqueza de Margalef. Según este hallazgo, para obtener valores altos de riqueza, las concentraciones de sólidos deben ser bajas y el oxígeno disuelto debe incrementarse.

Ordenación de las variables biológicas. El ACL muestra un patrón de distribución del ensamblaje de MIA de Jaboque, en el que se observan dos gradientes (Figuras 3A y 3B). El gradiente más fuerte y evidente (vector que se dirige hacia la derecha) se inicia en un conjunto de estaciones y muestreos de características fisicoquímicas relativamente mejores. En este grupo de muestreos están las estaciones A y G (la primera con menos intervención humana y la segunda con espejo de agua). El gradiente se dirige hacia la estación F (una de las más alteradas) (Figura 3A). Los taxones asociados a este gradiente de deterioro pertenecen a Psychodidae, Tubificidae y Physidae. En el extremo de mejores características ambientales se encontraron a los representantes de las familias Ceratopogonidae, Pyralidae y del género *Enochrus* (familia Hydrophilidae) (Figura 3B). El segundo gradiente es menos fuerte (vector superior) y se dirige desde las estaciones menos contaminadas hacia las estaciones E, D y C (ricas en fósforo), donde la familia Sphaeriidae estuvo bien representada. Estos pequeños bivalvos se han registrado en sistemas lénticos donde las concentraciones de oxígeno son relativamente bajas. En resumen, el ACL muestra un grado de organización de los MIA que refleja cierto graduación espacial de la contaminación en el humedal Jaboque.

Relaciones generales entre las familias de macroinvertebrados y las variables físicas y químicas. La abundancia de la familia Glossiphoniidae tuvo una correlación positiva con los nitratos ($p = 0.023$, $r = 0.42$), es decir que su número aumentó cuando se presentaron altos valores de dicha variable. Rivera-Usme y Mejía-Rodríguez (2004) encontraron que la familia Glossiphoniidae presentó una relación negativa con las sustancias nitrogenadas, pero obviamente estos autores no registraron valores tan altos como los hallados en el presente estudio. Las morfoespecies del género *Scirtes* también se correlacionaron positivamente con el nitrógeno amoniacal ($p = 0.02$, $r = 0.43$). Krueger & Waters (1983) encontraron que la producción anual de macroinvertebrados está estadísticamente relacionada con los compuestos nitrogenados como los nitratos, ya que estos compuestos estimulan la producción en el sistema biótico y por ende, el alimento para los MIA. La conductividad ($p<0.009$, $r = 0.47$) también mostró una relación positiva con la abundancia de esta familia de sanguijuelas, debido a que los valores altos de este parámetro implican concentraciones altas de minerales disueltos en el humedal, y estos a su vez promueven

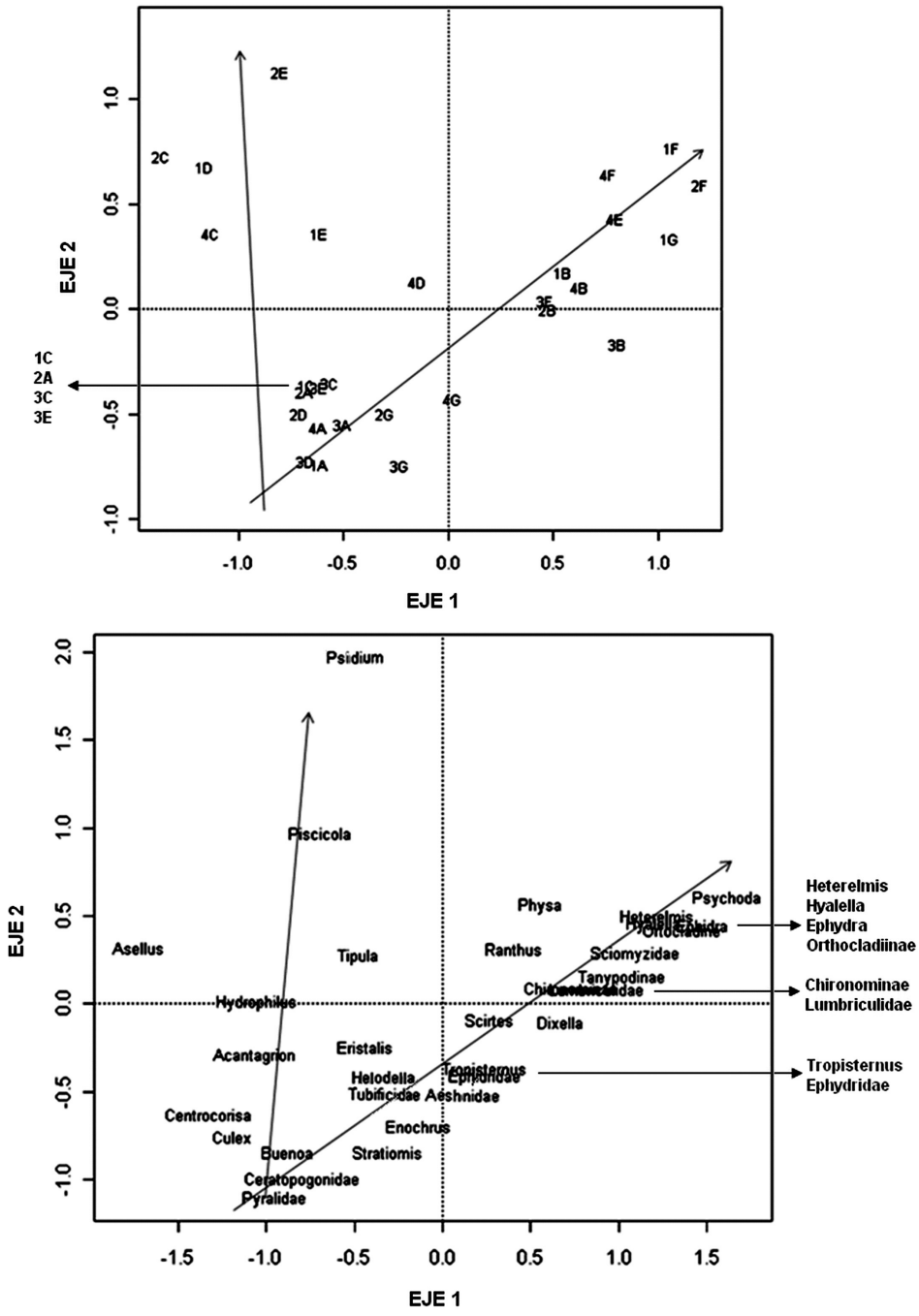

Figura 3. Análisis de correspondencias linealizado de los taxones de macroinvertebrados registrados en el humedal Jaboque.

a) Ordenación de las estaciones de muestreo; b) Ordenación de los taxones. Las letras corresponden a las estaciones (A, B, C, D, E, F, G) y los números hacen referencia a los meses de muestreo 1 (abril), 2 (agosto), 3 (octubre), 4 (enero).

un aumento en la vegetación acuática. De esta forma se genera un ambiente más heterogéneo que favorece la presencia de las sanguijuelas en Jaboque. Se explicaría así la alta abundancia de los Glossiphoniidae durante los muestreos, ya que al parecer este taxón está adaptado a elevadas cargas de MO. Con respecto a los nutrientes (nitritos, nitratos, fósforo), es complejo establecer el efecto que causan sobre las comunidades acuáticas, como lo mencionaron Richards & Baker (1993).

El oxígeno favoreció el establecimiento de los Chironominae ($p = 0.043$, $r = 0.52$), de los Tipulidae ($p = 0.01$, $r = 0.44$) y de los isópodos Asellidae ($p = 0.0008$, $r = 0.59$). El aumento de oxígeno promueve una abundancia biológica alta y un desarrollo fuerte de la entomofauna acuática (Guerrero *et al*. 2003). Las variables que se relacionaron inversamente (es decir, que al aumentar disminuye la abundancia de los organismos) fueron los sólidos suspendidos con respecto a los representantes de las familias Hyalellidae, Asellidae y Physidae. Moya *et al*. (2009a) plantearon que los sólidos suspendidos tienen efectos negativos sobre la comunidad de macroinvertebrados. Por su parte la familia Sphaeriidae mostró una correlación positiva con las concentraciones de sólidos ($p = 0.0002$, $r = 0.64$), con la conductividad ($p = 0.003$, $r = 0.48$) y con el fósforo ($p = 0.002$, $r = 0.55$), mientras que la familia Tipulidae presentó una relación positiva con el oxígeno disuelto ($p = 0.01$, $r = 0.44$). Todas estas relaciones demuestran que las características físicas y químicas del agua de Jaboque tienen una clara influencia sobre la composición y abundancia de los invertebrados acuáticos que lo habitan.

Las correlaciones halladas, aunque preliminares, podrán utilizarse en futuros trabajos que intenten modelar los efectos de los factores ambientales sobre las abundancias de los macroinvertebrados en Jaboque y en humedales similares. De acuerdo con Martínez *et al.* (1998), la estructura de la comunidad de macroinvertebrados depende de las condiciones del sedimento, la profundidad, el oxígeno, el pH, la temperatura y la MO entre otros. Es de esperar que los cambios significativos en estas características físicas y químicas del medio coincidan con las variaciones en composición y abundancia de las comunidades acuáticas, debido a que existe una estrecha correlación entre los organismos y los factores ambientales.

CONSIDERACIONES FINALES

El humedal Jaboque es un sistema de aguas neutras a ligeramente ácidas, bastante mineralizadas, con temperaturas cálidas y altos valores de DBO_5. Estos señalan una elevada carga de MO, en cuya degradación se consumen el oxígeno disuelto, principalmente en épocas de bajas lluvias. Los compuestos nitrogenados y el fósforo presentan concentraciones altas, en especial en las épocas de menor precipitación. Los datos registrados exceden los valores reglamentarios para consumo humano y para preservar la biota acuática, lo cual clasifica a este sistema como eutrófico y polisapróbico. Estas características son típicas de un humedal urbano con fuertes presiones antrópicas.

La comunidad de MIA asociados a la vegetación acuática fue variada, con mayor riqueza y diversidad en las épocas lluviosas y alta abundancia en los periodos secos. La mayor densidad correspondió a las familias Glossiphoniidae y Asellidae, que son taxones indicadores de contaminación orgánica, debido a que están mejor adaptados para emplear eficientemente los altos niveles de nutrientes (Bennett & Humphries 1978). Estos organismos presentaron además, correlaciones positivas con las variables físicas y químicas indicadoras de enriquecimiento de nutrientes. Estos resultados igualmente confirman las condiciones de elevados nutrientes y fuerte saprobiedad de Jaboque, que no favorecen a las especies sensibles a tales características.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo de Biodiversidad y Conservación del Instituto de Ciencias de la Universidad Nacional por su aporte en la elaboración de la investigación del proyecto. A María Isabel Castro por su apoyo, asesoría y préstamo de bibliografía. A Kenneth Roy Cabrera, profesor de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Luis Ospina y Andrew Mendoza estudiantes de estadística de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá por su asesoría en el análisis. Al programa de posgrado de Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá por las facilidades brindadas.

LITERATURA CITADA

Álvarez, J. 2003. Caracterización limnológica de humedal de Jaboque. En: J.O. Rangel-Ch. (compilador). Informe final proyecto: Capacitación en recursos ambientales utilizando como modelo los humedales de Engativá. Universidad Nacional de Colombia – Instituto de Ciencias Naturales – Alcaldía local de Engativá.

Álvarez, J. 2005. Evaluación del estado trófico del humedal de Jaboque: Análisis espacial y temporal de las características fisicoquímicas del agua y de la comunidad planctónica. En: J.O. Rangel-Ch. (compilador). Investigación aplicada en restauración ecológica en el humedal de Jaboque: 215-235. Convenio Acueducto de Bogotá-Universidad Nacional de Colombia, Informe final, Bogotá.

Angrisano, E. & E. Trémouilles. 1995. Insecta Díptera. En: E. Lopretto & G. Tell. *Ecosistemas de aguas continentales. Metodologías para su estudio. Tomo III*: 1243-1265. Ediciones Sur, La Plata.

Anónimo 1992. *Métodos normalizados para el análisis de agua potables y residuales*. APHA-AWWA-WPCF. Traducción del Standard Methods. Editorial Díaz de Santos. S.A., Barcelona.760 pp.

Armitage, P.D., P.S. Cranston & L.C.V. Pinder. 1995. *The Chironomidae: Biology and Ecology of Non-biting Midges*. Chapman and Hall, New York.588 p.

Bennett, D. & D. Humphries. 1978. *Introducción a la ecología de campo*. H. Blume, Madrid.326 pp.

Castaño-Uribe, C. 2003. Conclusiones del Foro Internacional de Humedales (citado 9 abril 2013). Disponible en URL: http://d7.rirh.org/documentos/insumos/conclusiones_foro_inter_humedales.pdf

Fernández, H. & E. Domínguez. 2001. *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo, Tucumán. 282 pp.

García, H.L. 2008. Hydrophilidae (Insecta: Coleóptera) en el departamento del Quindío. Trabajo de grado. Armenia: Programa de Biología. Facultad de Ciencias Básicas y Tecnologías, Universidad del Quindío, Pereira.

Guerrero, F., A. Manjarrés & N. Nuñez. 2003. Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (cuenca del río Gaira, Magdalena, Colombia) y su relación con la calidad del agua. Acta Biológica Colombiana 8(2): 43-55.

Hernández-R., J. & J.O. Rangel-Ch. 2009. La vegetación del humedal de Jaboque (Bogotá, D.C.). Caldasia 31(2): 355-379.

Hoback, W.W. & D.W. Stanley. 2001. Insects in hypoxia. Journal of Insect Physiology 47:533-542.

Jeffries, M. & D. Mills. 1990. *Freshwater Ecology: Principles and Applications*. John Wiley, London. Págs. 200 pp.

Krueger, C.C. & T.F. Waters. 1983. Annual production of macroinvertebrates in three streams of different water quality. Ecology 64(4):840-850.

Lewis, W. Jr. 2000.Basic for the protection and management of tropical lakes.Lakes & Reservoirs. 5: 35-48.

Martínez, B., J. Velasco, M.L. Suarez & M.R. Vidal-Abarca. 1998. Benthic organic

matter dynamics in an intermittent stream in southeast Spain. Arch. Hydrobiol. 141: 303-320.

Martínez, M.A. 2009. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua en tres ciénagas del departamento de Cesar, Colombia. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.125 pp.

Maul, J.D., J.L. Farris, C.D. Milan, C.M. Cooper, S. Testa & D.L. Feldman. 2004. The influence of stream habitat and water quality on macroinvertebrate communities in degraded streams of northwest Mississippi. Hydrobiologia 518:79-94.

Merritt, R.W. & K.W. Cummins. 1996. *An introduction to the aquatic insects of North America.* 3ª Edition. Kendall/Hunt Publishing Company. Dubuque. 862 pp.

Metcalf, A. & J. Eddy. 1996. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización.* Tomo I. McGraw-Hill/ Interamericana S.A. México D.F. 220 pp.

Mitsch, W.J. & J.G. Gosselink. 2000. *Wetlands.* John Wiley and Sons, Inc. New York. 920 pp.

Moya, C., C. Valdovinos, A. Moraga, F. Romero, P. Debels & A. Oyanedel. 2009a. Patrones de distribución espacial de ensambles de macroinvertebrados bentónicos de un sistema fluvial Andino Patagónico. Revista Chilena de Historia Natural 82:425-442.

Moya, N., F. Gibon, T. Oberdorff, C. Rosales & E. Domínguez. 2009b. Comparación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos intermitentes y permanentes del altiplano boliviano: implicaciones para el futuro cambio climático. Ecología aplicada 8(2): 105-114.

Ovalle, H. 2006. Estudio de la distribución espacial y temporal de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos del humedal el Jaboque (Bogotá, Colombia). serial online (citado 22 agosto 2010). Disponible en: URL: http://www.ramsar.org/pdf/wwd/6/wwd2006_rpts_colombia01.pdf

Pennak, R.W. 1978. *Fresh-Water Invertebrates of the United States*.2nd Edition, Jhon Wiley Sons, New York.803 pp.

Prat, N., B. Ríos, R. Acosta & M. Rieradevall. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. En: E. Domínguez & H.R. Fernández (eds.). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*: 631-654. Fundación Miguel Lillo, Tucumán.

R-2010. 2010. The R Project for statistical Computing. The R Foundation for Statistical Computing (programa de ordenador) R version 2.11.1 Copyright (C).

Rangel-Ch, J.O. (Compilador). 2005. Investigación aplicada en restauración ecológica en el humedal de Jaboque. Convenio Acueducto de Bogotá-Universidad Nacional de Colombia, Informe final, Bogotá.

Richards, R.P. & D.B. Baker. 1993. Pesticide concentration patterns in agricultural drainage networks in the Lake Erie basin. Environ. Toxicol. Chem. 12: 13-26.

Rivera-Usme J.J. & D.M. Mejía-Rodríguez. 2004. Estudio de indicadores ambientales de calidad de agua en la quebrada La Jaramilla, La Tebaida-Quindío. Trabajo de grado. Programa de Licenciatura en Biología y Educación Ambiental. Facultad de Educación. Universidad del Quindío, Pereira. 127 pp.

Rivera-Usme, J.J. 2011. Relación entre la composición y biomasa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y las variables físicas y químicas en el humedal Jaboque Bogotá-Colombia. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 156 pp.

Roldán, G. 1988. *Guía para el estudio de de los macroinvertebrados acuáticos en el departamento de Antioquia*. Bogotá, Colombia: Fondo FEN Colombia.

Universidad de Antioquia, Medellín. 217 pp.

Roldán, G. & J.J Ramírez. 2008. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. 2ª ed. Universidad de Antioquia-ACCEFYN-Universidad Católica de Oriente, Medellín. 442 pp.

Salas, H.J. & P. Martino. 2001. *Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales centro panamericano de ingeniería sanitariay ciencias del ambiente.* Programa Regional CEPIS/HPE/OPS OPS/CEPIS/PUB/01, Lima. 63 pp.

Santos, N.D. 1981. Odonata. En: S.H. Hurlbert, G. Rodríguez, N.D. Dos Santos. (eds). *Aquatic Biota of Tropical South America. Part 1 Arthropoda*: 64-85. San Diego State University, San Diego.

SAS 9.2 SOFTWARE. 2002. SAS Institute Inc. Programa de ordenador. Versión 9.00, Cary, NC, USA.

Sierra, O.R. & C.A. Monsalve. 2005. Zonificación trófica del humedal Jaboque, con base en la familia Bacillariophyceae, Engativá. En Rangel-Ch., J.O (Compilador). Investigación aplicada en restauración ecológica en el humedal de Jaboque: 1-23. Convenio Acueducto de Bogotá-Universidad Nacional de Colombia, Informe final, Bogotá.

Thorp, J.H. & A.P. Covich. 2001. *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates.* 2nd edition. Academic Press, San Diego. 1073 pp.

Venegas, E.M. 2008. Estado limnológico de cuatro humedales de la sabana de Bogotá utilizando macroinvertebrados como bioindicadores. Trabajo de Grado, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. 16 p.

Wetzel, R. 1981. *Limnología*. Ediciones Omega S.A, Barcelona. 679 pp.

Wilhm, J. & C. Dorris. 1968. Biological parameters for water quality criteria. Rev. Bios. 18(6): 477-480.

Recibido: 03/10/2011
Aceptado: 05/09/2013